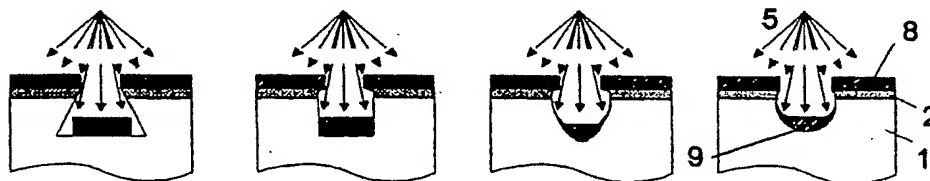


PCTWELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H01L 31/0224	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO.99/56324 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 4. November 1999 (04.11.99)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/01246 (22) Internationales Anmeldedatum: 27. April 1999 (27.04.99) (30) Prioritätsdaten: 198 19 200.2 29. April 1998 (29.04.98) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUN- HOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leon- rodstrasse 54, D-80636 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LÜDEMANN, Ralf [DE/DE]; Hummelstrasse 13, D-79100 Freiburg (DE). SCHAEFER, Sebastian [DE/DE]; Wentzingerstrasse 68, D-79106 Freiburg (DE). (74) Anwalt: GAGEL, Roland; Landsbergerstrasse 480a, D-81241 München (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: AU, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>	

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING CONTACT STRUCTURES IN SOLAR CELLS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON KONTAKTSTRUKTUREN IN SOLARZELLEN



(57) Abstract

The invention relates to a method for producing contact structures in semiconductor components, especially solar cells, and semiconductor components having these contact structures. According to the invention, recesses which extend through the first layer to or into a second layer located under said first layer are etched after positioning an etching mask (3) over a first layer or a series of layers (2). The etching is carried out in such a way that the etching mask is etched underneath and/or at least one area of the first layer (2) is provided with negative flanks. Afterwards, an electrically conductive material (9) is inserted in the recesses, whereby the etching mask (3) or the first layer (2) forms a shadow mask for inserting the material. The conductive material is placed in the recesses only up to a height at which there is still no contact between the conductive material (9) and the first layer (2). The structures permit the emitter to contact the base without additional masking. As a result, the invention makes it possible to produce metal contacts on solar cells in an easier and economical manner.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Halbleiterbauelementen, insbesondere Solarzellen, sowie Halbleiterbauelemente mit diesen Kontaktstrukturen. Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung werden nach dem Positionieren einer Ätzmaske (3) über einer ersten Schicht bzw. Schichtfolge (2) Vertiefungen durch die erste Schicht bis an oder in eine darunterliegende zweite Schicht (1) geätzt. Das Ätzen erfolgt so, daß die Ätzmaske (3) unterätzt wird und/oder zumindest ein Bereich der ersten Schicht (2) negative Flanken erhält. Anschließend wird elektrisch leitfähiges Material (9) in die Vertiefungen eingebracht, wobei die Ätzmaske (3) oder die erste Schicht (2) eine Schattenmaske für das Einbringen des Materials bildet. Das leitfähige Material wird nur bis zu einer Höhe in die Vertiefungen eingebracht, bei der noch kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material (9) und der ersten Schicht (2) besteht. Die Strukturen erlauben erstmals die Kontaktierung der Basis durch den Emitter ohne zusätzliche Maskierung. Die Erfindung ermöglicht dadurch eine einfachere und kostengünstige Herstellung von Metallkontakten an Solarzellen.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabon	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
RR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun			PT	Portugal		
CN	China	KR	Republik Korea	RO	Rumänien		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SG	Singapur		
EE	Estland	LR	Liberia				

Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in
Solarzellen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Solarzellen, sowie
5 Solarzellen mit diesen Kontaktstrukturen. Die Erfindung bezieht sich insbesondere auf Strukturen von Gräben oder Löchern und Verfahren zu ihrer Realisierung, die neuartige Kontaktierungen von Solarzellen ermöglichen.

10 Solarzellen sind Bauelemente, die Licht in elektrische Energie umwandeln. Üblicherweise bestehen sie aus einem Halbleitermaterial, das Bereiche bzw. Schichten unterschiedlicher Beweglichkeit für positive und negative Ladungsträger, n- bzw. p-leitende Bereiche,
15 enthält. Die Bereiche werden als Emitter bzw. Basis bezeichnet. Durch einfallendes Licht erzeugte positive und negative Ladungsträger werden getrennt und können durch auf den jeweiligen Bereichen vorgesehene metallische Kontakte abgeführt werden. Zur nutzbaren elektrischen Leistung der Solarzellen tragen entsprechend
20 nur solche Ladungsträger bei, die die Kontakte erreichen und nicht vorher mit einem jeweils anderen Ladungsträger rekombinieren.

Die metallischen Kontakte werden in der Regel
25 durch Aufdampfen von Metall, das anschließend galvanisch verdickt wird, durch stromlose Abscheidung von Nickel oder durch Aufdrucken einer Metallpaste auf die Oberfläche der zu kontaktierenden Bereiche hergestellt. Wenn sich diese Bereiche nicht über die gesamte Solarzellenoberfläche erstrecken oder aus anderen Gründen
30

- 2 -

(z.B. Abschattung des Lichts, erhöhte Rekombination am Kontakt, etc.) das Metall nur stellenweise aufgebracht werden darf, wie weiter unten beschrieben, wird dies durch Verwendung von Masken bei der Herstellung
5 sichergestellt.

Beim Aufdampfen von Metall wird üblicherweise eine photolithographisch hergestellte Lackmaske (3) direkt auf die Oberfläche der zu kontaktierenden Schicht (1) aufgetragen, wie dies in Figur 1a dargestellt ist.
10 Danach wird eine Metallschicht (4) aus dem Metалldampf (5) ganzflächig auf der Oberfläche abgeschieden und die Lackmaske entfernt.

Eine andere Möglichkeit der Strukturierung besteht im Auflegen bzw. Aufkleben einer Schattenmaske (3),
15 wie in Figur 1b gezeigt. Die weiteren Prozeßschritte erfolgen wie in Verbindung mit Figur 1a beschrieben. Zum Aufbringen der Metallisierung sind auch Druckverfahren anwendbar. Auch hierbei werden Masken, beispielsweise Siebdruckmasken (3) oder vorgeformte
20 Klischees (Stempel- oder Tampondruck), eingesetzt. Figur 1c zeigt das Siebdruckverfahren, bei dem Metall in Form einer Metallpaste (6) mittels eines Rakels (7) in die Zwischenräume der Maske gedrückt wird.

Die mit den gerade beschriebenen Verfahren hergestellten Metallkontakte werden meist in einer kammartigen Form realisiert, d.h. sie bilden sog. Grids.
25

In der einfachsten Form bestehen Solarzellen aus ganzflächigen Basis- und Emitterbereichen, wobei der
30 Emitter meist auf der dem Licht zugewandten Seite (Vorderseite) liegt (siehe Figur 2). Dadurch kann die Basis durch ganzflächiges Aufbringen von Metall auf der Rückseite kontaktiert werden. Der Emitter wird mit

einem Grid kontaktiert, mit dem Ziel, möglichst wenig Licht durch Reflexion am Metallkontakt für die Solarzelle zu verlieren. Man spricht von der Abschattung der Solarzelle durch die Kontaktierung. Je geringer die
5 Abschattung, d.h. je mehr Licht in die Solarzelle gelangen kann, desto größer ist die Stromausbeute der Zelle pro Fläche, und somit der Wirkungsgrad. Um einen Stromtransport mit geringem Widerstand zu garantieren, dürfen der Abstand der Gridfinger nicht zu groß, Anzahl
10 und Querschnitt nicht zu klein gewählt werden. Eine gewisse Abschattung muß also in Kauf genommen werden.

Figur 2 zeigt eine Solarzelle mit der Basisschicht (1), der Emitterschicht (2) und dem Emittergrid (8) zur Kontaktierung des Emitters. Die Vorderseite, von der
15 das Licht (10) einfällt, wird durch die Emitterschicht (2) gebildet. Auf der Rückseite der Basisschicht (1) ist der Basiskontakt (9) ganzflächig aufgebracht.

Die WO 88/03709 A1 beschreibt eine derartige
20 Solarzelle. Bei dieser Solarzelle wird die Emitterschicht über Gräben kontaktiert, die wiederum mit einem auf der Oberfläche der Solarzelle aufgebrachten Grid in Kontakt sind. Die Gräben werden bei dieser Solarzelle über einen Ätzprozeß erzeugt.
25 Durch die Anordnung und Form der Grids muß jedoch auch hier eine unerwünschte Abschattung der Oberfläche der Solarzelle in Kauf genommen werden.

Eine Möglichkeit, die Abschattung durch die
30 Metallkontakte zu verringern, besteht darin, die Gridfinger hoch und schmal zu gestalten, wie dies in S.W. Glunz et al., Optimized High-Efficiency Silicon Solar Cells with $J_{sc} = 42 \text{ mA/cm}^2$ and $\eta = 23.3 \%$, 14th EU-

- 4 -

PVSEC Barcelona, Spain (1997), vorgeschlagen wird. Dadurch wird die von den Kontakten abgedeckte Solarzellenfläche verringert, ohne den Querschnitt und damit die Leitfähigkeit des Grids zu verringern.

5 Das Verfahren erfordert jedoch eine spezielle Lackmaske, die sicherstellt, daß während der galvanischen Verdickung des aufgedampften Metalls das Grid nur in die Höhe wächst. Das Aufdrucken solcher feiner Kontakte ist nach dem heutigen Stand der Technik nicht
10 möglich.

 In der US 4726850 wird ein anderes Konzept, die sog. "buried contact cell", vorgestellt. Diese basiert auf durch Laser erzeugten Gräben (siehe auch US
15 4626613), die mit Metall gefüllt werden. Die Abschattung der Solarzelle wird dabei durch die Breite der Gräben bestimmt und kann minimiert werden, während durch die Tiefe der Gräben der Querschnitt der Kontakte erhalten bleibt. Ein weiterer Vorteil von solchen ver-
20 grabenen Kontakten liegt in der größeren Kontaktfläche zwischen Metall und Solarzelle, wodurch der Kontaktwiderstand herabgesetzt wird.

 Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht jedoch darin, daß das Erzeugen der Gräben mittels Laser ein
25 sehr aufwendiger Prozeß ist. Hierbei muß der Laserstrahl über eine präzise Ablenk- oder Verfahrenseinrichtung über die gesamte Oberfläche der Solarzelle geführt werden. Durch die Einwirkung des Laserstrahls wird zudem die Solarzelle geschädigt, so
30 daß die Gräben anschließend geätzt werden müssen, um die geschädigte Schicht abzutragen. Dies gilt auch für mechanisch erzeugte, beispielsweise gesägte, Gräben.

Neben der Steigerung des Wirkungsgrades stellen die Vereinfachung der Herstellung und die Entwicklung billigerer Ausgangsmaterialien die wichtigsten Herausforderungen für die Solarzellentechnologie dar. Bezogen auf die Kontaktierung bedeutet der Verzicht auf Masken bei der Metallisierung eine erhebliche Vereinfachung. Zwei kürzlich beschriebene Verfahren zur maskenlosen Herstellung von Grids basieren auf der Texturierung der Oberfläche durch gesägte Gräben ähnlich einem Sägezahn-
muster.

So wird in M. Verbeek et al., Mechanically Grooved High-Efficiency Silicon Solar Cells with Self-Aligned Metallisation, 25th IEEE-PVSC Washington, U.S.A. (1996), ein erstes Verfahren vorgeschlagen, bei dem durch schräges Bedampfen aufgrund der gegenseitigen Abschattung nur die Spitzen der "Sägezähne" metallisiert werden. Dies ist schematisch in Figur 3a dargestellt. Die Figur zeigt die gesägte Oberfläche einer zu kontaktierenden Schicht (1), an deren Spitzen durch schräges Bedampfen (5) nur einseitig eine Metallisierung (4) erzeugt wird.

Ein zweites Verfahren wird von C. Gerhards et al., Mechanically V-Textured Low Cost Multicrystalline Silicon Solar Cells with a Novel Printing Metallization, 26th IEEE-PVSC Anaheim, U.S.A. (1997), beschrieben. Das Verfahren ermöglicht durch die Erzeugung unterschiedlich hoher "Sägezähne" eine selektive Metallisierung durch sog. "roller printing", bei dem eine Metallpaste (6) mittels eines Rakels (7) aufgetragen wird, wie in Figur 3b dargestellt.

Bei beiden Verfahren muß jedoch nach dem Sägen eine ca. 3-5 µm dicke geschädigte Schicht durch Ätzen entfernt werden. Außerdem eignen sie sich aufgrund der

beim Sägen auftretenden mechanischen Verspannungen, nicht für empfindliche Materialien, wie z.B. einige bandgezogene Materialien oder dünne abgeschiedene Schichten. Auch für Dünnschichtsolarzellen sind sie
5 ungeeignet, da die minimal erzielbaren Sägetiefen meist größer als die Dicke der aktiven Solarzellenschichten (3-50 μm) sind.

Im Zuge der Entwicklung von billigeren Ausgangs-
10 materialien kommt dem Konzept der Dünnschichtsolarzelle auf einem kostengünstigen Substrat eine besondere Bedeutung zu. Die Solarzelle besteht dabei nur aus einer dünnen Halbleiterschicht (3-50 μm), die auf ein Trägermaterial aufgebracht ist. Viele dieser Substrate sind
15 allerdings nicht leitfähig. Deshalb kann der Kontakt zur Basis nicht von der Rückseite über das Substrat erfolgen. Statt dessen muß ein sog. Einseitengrid verwendet werden, das aus zwei ineinandergreifenden Grids, jeweils zur Kontaktierung der Basis und des Emitters,
20 besteht.

Figur 4a zeigt ein Beispiel für den Aufbau einer Dünnschichtsolarzelle mit Einseitenkontaktierung. Die Basisschicht (1) ist hier auf einem isolierenden Substrat (11) aufgebracht. In die Basisschicht sind die
25 selektiven Emitterbereiche bzw. -schichten (2) eingebettet. Die Kontaktierung sowohl der Emitterbereiche als auch der Basis erfolgt durch ineinandergreifende Emitter- (8) bzw. Basisgrids (9), wie in der Figur dargestellt.

30 Das Konzept der Einseitenkontaktierung kann gleichzeitig dazu genutzt werden, auf einem Substrat mehrere Solarzellen miteinander zu verschalten, wie in

der deutschen Patentanmeldung P 197 15 138.8 beschrieben ist.

Die gleichen Ausführungen gelten auch für die Rückseitenkontaktzelle, einem Konzept für hocheffiziente Solarzellen, wie sie in Figur 4b gezeigt ist. Hier sind beide Kontakte sowie die selektiven Emitterbereiche (2) auf der Rückseite der Basisschicht (1) ausgeführt, um die Abschattung von Licht (10) auf der Vorderseite völlig zu eliminieren. Werden die Kontakte als schmale Grids (8, 9) realisiert, kann auch Licht, das von der Rückseite auf die Solarzelle gelangt, zur Stromerzeugung beitragen (sog. "bifacial cell").

Die Realisierung dieser Einseitenkontaktierung ist bislang allerdings nur durch sehr aufwendige Verfahren möglich. Dabei wird über mehrere Maskenschritte ein sog. selektiver Emitter erzeugt, d.h. der Emitter besteht nicht aus einer homogenen Schicht, sondern aus Teilbereichen, die der Form des Emittergrids entsprechen. Das Herstellungsverfahren ist in Figur 5 dargestellt. Die Oberfläche der Basisschicht (1) wird zunächst maskiert (Figur 5a). Anschließend wird das Material zur Erzeugung der Emitterbereiche (2) an den durch die Maske (3) vorgegebenen Stellen in die Oberfläche der Basisschicht (1) eindiffundiert (Figur 5b). In einem anschließenden "lift-off"-Prozeß wird die Maske (3) entfernt (Figur 5c), so daß die in Figur 5d gezeigte Struktur mit Basis (1) und selektiven Emitterbereichen (2) resultiert. Auf diese Weise bleiben an der Oberfläche Bereiche, die zur Basis (1) gehören, erhalten und können an der Oberfläche kontaktiert werden.

Das genaue Aufbringen der jeweiligen Metallkontakte auf den entsprechenden Emitter- bzw. Basisbereich stellt jedoch ein kritisches Justageproblem dar und erfordert zusätzliche Masken.

5

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Solarzellen sowie Solarzellen mit Kontaktstrukturen bereitzustellen, die auf einfache und kostengünstige Weise realisiert werden können.

10

Weiterhin soll das Verfahren die einfache Realisierung von Einseitenkontaktierungen von Dünnschicht- und Rückseitenkontakt-Solarzellen ermöglichen.

15

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren nach Anspruch 1 und 2 bzw. mit der Solarzelle nach Anspruch 11 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

20

Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung (Anspruch 1) werden nach dem Positionieren der Ätzmaske über der ersten Schicht oder Schichtfolge die Vertiefungen durch die erste Schicht oder Schichtfolge bis an oder in die darunterliegende zweite Schicht geätzt. Erfindungsgemäß erfolgt das Ätzen hierbei so, daß die Ätzmaske unterätzt wird. Anschließend wird elektrisch leitfähiges Material in die Vertiefungen eingebracht, wobei die Ätzmaske aufgrund der Unterätzung und der daraus resultierenden überstehenden Ränder eine Schattenmaske für das Einbringen des Materials bildet. Das leitfähige Material wird nur in einem Maße bzw. bis zu einer Höhe in die Vertiefungen eingebracht, daß kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material und der

25

30

ersten Schicht oder Schichtfolge entsteht. Abschließend wird die Ätzmaske entfernt.

5 Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung (Anspruch 2) werden die ersten Schritte wie beim Verfahren gemäß Anspruch 1 durchgeführt. Gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung wird jedoch das Ätzen der Vertiefungen so durchgeführt, daß zumindest ein Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge negative Flanken
10 erhält bzw. unterätzt wird. Nach dem Ätzschritt kann die Ätzmaske bereits entfernt werden. Anschließend erfolgt das Einbringen von elektrisch leitfähigem Material in die Vertiefungen, wobei in diesem Fall der Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge mit negativen Flanken aufgrund der daraus resultierenden überstehenden Ränder eine Schattenmaske für das Einbringen des Materials bildet. Das leitfähige Material wird auch
15 hier nur in einem Maße bzw. bis zu einer Höhe in die Vertiefungen eingebracht, daß kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material und der ersten Schicht oder
20 Schichtfolge entsteht.

 Durch die besonders vorteilhaften Aspekte der erfindungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 1 und 2 läßt
25 sich ohne zusätzliche Maskierung oder Isolation eine Kontaktierung der zweiten Schicht durch die erste Schicht hindurch realisieren. Dies ermöglicht die Kontaktierung einer Basisschicht durch die Emitter-
schicht einer Solarzelle hindurch.

30 Mit den Verfahren lassen sich beliebige Muster, wie Gräben oder Löcher und Kombinationen von Gräben und Löchern, in einem Schritt realisieren.

- 10 -

Bei Anwendung der Verfahren entsteht keine signifikante Schädigung der Solarzelle, und das zu behandelnde Material wird keinem mechanischen Streß ausgesetzt.

5

Als Ätzmasken können bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Ansprüche 1 und 2 beispielsweise photolithographisch strukturierte Lackschichten eingesetzt werden. Auch die Verwendung beispielsweise von Oxid-,
10 Nitrid-, oder Metallschichten als Ätzmasken ist möglich. Besonders vorteilhaft an dem Verfahren ist die Möglichkeit der Verwendung von Schattenmasken, die lediglich aufgelegt oder aufgeklemt werden, so daß kein zusätzlicher Maskierungsschritt erforderlich ist.

15 Das Einbringen des elektrisch leitfähigen Materials kann durch bekannte Verfahren, wie beispielsweise die in der Beschreibungseinleitung in Verbindung mit Figur 1 beschriebenen Verfahren, erfolgen.

20 Eine erfindungsgemäße Solarzelle, die gemäß dem Verfahren nach Anspruch 2 mit einer Kontaktstruktur versehen wurde, weist Vertiefungen oder Öffnungen in der ersten Schicht oder Schichtfolge auf, die sich bis an oder in die zweite Schicht oder Schichtfolge er-
25 strecken. Die Vertiefungen haben zumindest in einem Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge schräg verlaufende Flanken, deren gegenseitige Abstände mit der Tiefe zunehmen (negative Flanken). In den Vertiefungen ist elektrisch leitfähiges Material nur in einem Maße
30 bzw. bis zu einer Höhe eingebracht, daß kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material und der ersten Schicht oder Schichtfolge besteht.

- 11 -

Unter schräg verlaufenden Flanken sind hierbei sowohl geradlinige als auch gekrümmte Flanken zu verstehen, mit anderen Worten jede Flankenform, die von der Senkrechten (zur Oberfläche der Solarzelle bzw. der ersten Schicht oder Ätzmaske) abweicht. Dies umfaßt selbstverständlich auch Stufen in der Flanke, die waagrecht verlaufende Bereiche, die zur Vergrößerung des Querschnitts der Vertiefung mit der Tiefe führen, als schräge bzw. negative Flanken im vorliegenden Sinne haben.

Das erfindungsgemäße Verfahren stellt eine Verbesserung bekannter Kontaktstrukturen bzw. Kontaktierungsverfahren für Solarzellen dar. Kernstück des Verfahrens gemäß Anspruch 1 und 2 sind speziell geformte Vertiefungen. Die angegebenen Ätzvorgänge werden vorzugsweise durch ein Plasmaätzverfahren realisiert (vgl. Anspruch 8).

Die Vertiefungen in Form von Gräben oder Löchern zeichnen sich dadurch aus, daß sie aufgrund gezielter Unterätzung bzw. Flankenform eine teilweise Selbstmaskierung bewirken (vgl. Figur 6, Anspruch 2). Diese Form der Vertiefungen kann durch gezielte Steuerung der Ätzung oder auch durch unterschiedliches Ätzverhalten der Materialien in verschiedenen Oberflächenschichten realisiert werden. Durch die so erzielte (Selbst-) Maskierung werden beim Bedampfen Teile der Struktur nicht metallisiert, so daß bei der Metallisierung Kurzschlüsse zwischen Emitter und Basis verhindert werden. Es ist deshalb erstmals eine Kontaktstruktur möglich, bei der die Basis einer Solarzelle nach homogener Dif-

fusion des Emitters von der Emitterseite aus kontaktiert werden kann.

Dieser Selbstmaskierungseffekt kann neben der gezielten Formung der Vertiefungen auch durch Ätzverfahren erreicht werden, die die zur Erzeugung der Struktur notwendige Maske nicht angreifen, aber so unterätzen, daß die Maske die Flanken der Vertiefungen während der Metallisierung teilweise maskiert (vgl. Figur 7, Anspruch 1). Da für die Strukturierung und für die Metallisierung dieselbe Maske verwendet wird, handelt es sich um sog. selbstjustierende Kontaktstrukturen.

Um die Abschattung der Solarzelle zu minimieren und gleichzeitig eine hohe Stromleitfähigkeit der Kontakte und einen geringen Kontaktwiderstand zu gewährleisten, sollten die Gräben oder Löcher schmal und tief sein, d.h. ein hohes Aspektverhältnis (Verhältnis von Tiefe zu Breite) aufweisen.

Die Erzeugung der erfindungsgemäßen Gräben- oder Löcherstrukturen kann nicht mittels Laser oder durch mechanische Formung erreicht werden. Die Strukturen sind beispielsweise durch naß-chemisches Ätzen in begrenztem Maße realisierbar.

Zum einen kann die Eigenschaft mancher Ätzlösungen ausgenutzt werden, in bestimmte Kristallrichtungen schneller zu ätzen als in andere. Auf entsprechend geschnittenem einkristallinem Material kann dies zu den gewünschten Strukturen führen. Allerdings ist deren Größe und Geometrie durch die Kristallstruktur des Materials vorgegeben.

Zum anderen können Ätzlösungen verwendet werden, die in alle Kristallrichtungen gleich schnell ätzen,

und die Ätzmaske unterätzen, aber nicht angreifen. Allerdings erzeugt dieser rein isotrope Ätzabtrag lediglich halbkugelförmige Strukturen, d.h. ein schlechtes Aspektverhältnis.

5 Vorzugsweise werden daher Plasmaätzverfahren eingesetzt, mit denen sich in vorteilhafter Weise die Flankenneigung oder Unterätzung kontrollieren läßt. Mit Plasmaätzverfahren läßt sich zudem ein hohes Aspektverhältnis erzielen.

10

Beim Plasmaätzen werden reaktive und/oder inerte Gase mittels Hochfrequenz- und/oder Mikrowellen-Einstrahlung zu Plasmen gezündet. Die dadurch entstehenden Radikale können mit der Probenoberfläche reagieren
15 (isotropes chemisches Ätzen) und/oder entstehende Ionen werden darauf durch ein elektrisches Feld beschleunigt. Im Fall des Reaktive-Ionen-Ätzens (RIE, engl.: "Reactive Ion Etching") nutzt man dabei hauptsächlich reaktive Ionen, die nicht nur Oberflächenatome heraus-
20 schlagen oder durch ihre Energie chemische Reaktionen unterstützen, sondern selbst mit Oberflächenatomen reagieren können. Der gerichtete Ionenstrom bewirkt einen anisotropen Abtrag. Durch geschickte Wahl der Prozeßparameter kann das Verhältnis von isotropem und
25 anisotropem Ätzen und damit die Unterätzung bzw. Flankenform der Strukturen gezielt beeinflußt werden. Dies ist unabhängig vom zu ätzenden Material und seiner Kristallorientierung und demnach auch für kostengünstiges multikristallines Material anwendbar.

30

Die bei allen Plasmaprozessen mögliche Schädigung des behandelten Materials ist für Solarzellen extrem kritisch. Im Gegensatz zu den meisten anderen Halblei-

terbauelementen soll in Solarzellen die Verlustleistung so gering wie möglich gehalten werden. Das bedeutet, daß die Rekombination von Ladungsträgern weitestgehend unterdrückt werden muß, damit möglichst viele Ladungsträger die elektrischen Kontakte erreichen. Um dies zu gewährleisten, werden im vorliegenden Fall extrem schädigungsarme plasmaunterstützte Ätzverfahren eingesetzt, die keine negativen Einflüsse auf die Solarzelle haben. Erreicht wird dies durch geringe Ionenenergien und eine an den jeweiligen Prozeß angepaßte Kombination von Ätzgasen.

Die Tatsache, daß es sich bei Plasmaätzverfahren um trocken-chemische Verfahren handelt, erweitert den Anwendungsbereich über den naß-chemischer Verfahren hinaus. So ist beispielsweise bei Einsatz eines Plasmaätzverfahrens zur Erzeugung der erfindungsgemäßen Kontaktstrukturen in vorteilhafter Weise die Behandlung von Dünnschichtsolarzellen auf porösen Substratmaterialien möglich. Da Plasmaätzverfahren trockene Verfahren darstellen, kommt das zu behandelnde Material nicht in Berührung mit Flüssigkeiten. Auch können Schattenmasken als Ätzmaske verwendet werden, was sehr viel kostengünstiger ist als die für die Naßchemie nötigen photolithographischen Masken.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren näher erläutert. Hierbei zeigen

Figur 1 Beispiele für Metallisierungsverfahren bei Solarzellen nach dem Stand der Technik;

- Figur 2 ein Schema einer einfachen Solarzelle nach dem Stand der Technik;
- Figur 3 Beispiele für eine maskenlose Metallisierung von Sägezahnstrukturen nach dem Stand der Technik;
- 5 Figur 4 Beispiele für eine Einseitenkontaktierung einer Dünnschichtsolarzelle (a) und einer Rückseitenkontaktzelle (b) nach dem Stand der Technik;
- 10 Figur 5 ein Beispiel für die Schritte zur Herstellung eines selektiven Emitters nach dem Stand der Technik;
- Figur 6 Beispiele für die Ausgestaltung erfindungsgemäßer selbstmaskierender Kontaktstrukturen;
- 15 Figur 7 Beispiele für die selbstjustierende Metallisierung aufgrund von Selbstmaskierung durch Unterätzen der Ätzmaske gemäß einem Aspekt der Erfindung;
- Figur 8 ein Beispiel für die Schritte bei der selbstjustierenden Herstellung vergrabener Kontakte gemäß der Erfindung;
- 20 Figur 9 ein Beispiel für die erfindungsgemäße Kontaktierung der Basis einer Solarzelle durch eine homogene Emitterschicht hindurch;
- 25 Figur 10 ein Beispiel für das Ergebnis der Metallisierung einer Struktur ohne Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Figur 11 ein Beispiel für die erfindungsgemäße Metallisierung von Emitter und Basis bei Rückseitenkontaktierung; und
- 30 Figur 12 ein Beispiel für die erfindungsgemäße gleichzeitige Metallisierung von Einseitenkontakt-grids.

Die in den Figuren 1 bis 5 dargestellten Beispiele für Verfahren zur Metallisierung, Kontaktierung und Ausgestaltung von Solarzellen im Stand der Technik wurden bereits in der Beschreibungseinleitung erläutert.

Figur 6 zeigt Beispiele für Kontaktstrukturen, die durch Unterätzung von bzw. durch Ätzen negativer Flanken in einem Bereich der auf der Basisschicht (1) einer Solarzelle befindlichen Emitterschicht (2) erzeugt wurden. Alle gezeigten Strukturen weisen bei der Metallbedampfung einen Selbstmaskierungseffekt auf, so daß nach dem Abscheiden des Metalls auf der Oberfläche der Emitterschicht der Emitterkontakt (8) und in den Vertiefungen der Basiskontakt (9) in der schematisch dargestellten Form entsteht. Die Vertiefungen werden hierbei nur soweit aufgefüllt bzw. die Abscheidung des Metalls erfolgt nur solange, daß kein Kontakt zwischen Basiskontakt (9) und Emitterschicht (2) entsteht. Die in der Figur dargestellten Flanken der Vertiefungen weisen (in den Abbildungen von links nach rechts) negative geradlinige Flanken, senkrechte Flanken in der Basisschicht mit negativem Bereich in der Emitterschicht, eine beliebige Flankenform mit negativem Bereich in der Emitterschicht, und eine Flankenform nach isotroper Ätzung mit negativem Bereich in der Emitterschicht auf. Die gezeigten Flankenformen können beispielsweise durch unterschiedliches Ätzverhalten in Emitter und Basis entstehen.

In Figur 7 sind Beispiele für die Selbstmaskierung durch Unterätzen der Ätzmaske (3) gemäß einem Aspekt

der Erfindung dargestellt. Die Bedeutung der Bezugszeichen entspricht der der Figur 6. Bei diesem Unterätzen wird die Ätzmaske (3) selbst nicht angegriffen. Die genaue Form der Vertiefungen spielt hierbei keine Rolle
5 mehr, d.h. es sind keine negativen Flanken in der Emitterschicht (2) wie bei Figur 6 erforderlich.

In der rechten Abbildung ist eine REM-Aufnahme einer mit dem Verfahren realisierten Struktur dargestellt. Die Erzeugung dieser Struktur kann
10 beispielsweise in einem ECR-Reaktor im Downstream-Modus durchgeführt werden. Bei Einsatz eines Ätzgases wie Schwefelhexafluorid SF_6 bei einem Gasfluß von 30 sccm, einem Druck von 3 Pa, einer Mikrowellenleistung von 400W, einer Proben temperatur von 10°C , einem Abstand
15 Probe-Plasma von 200 mm und einer Ätzzeit von 15 min kann beispielsweise eine Grabentiefe von 15 μm erreicht werden. Bei Einsatz zusätzlicher Hochfrequenz- (RIE-) Leistung von 20 W können die Gräben in der gleichen Zeit schmaler und tiefer realisiert werden.

20
Ein Anwendungsbeispiel (Beispiel 1) des erfindungsgemäßen Verfahrens stellt die selbstjustierende Metallisierung von vergrabenen Kontakten in einer Solarzelle dar. Das Verfahren stellt eine Verbesserung
25 der mittels Laser oder durch Sägen erzeugten Gräben bezüglich Aspektverhältnis und Schädigung einer "buried contact cell" dar.

Erfolgt die Strukturierung der Oberfläche vor der Emitterbildung, kann ein Emitterkontakt realisiert
30 werden. Erfolgt die Strukturierung auf dem Basisgebiet der Solarzelle, wird ein Basiskontakt realisiert.

Zur Erzeugung der Gräben (oder Löcher) wird eine Maske (3) verwendet. Dies kann entweder eine photo-

lithographisch erzeugte Lackmaske oder eine Schattenmaske sein. Auch entsprechend geöffnete, bereits vorhandene Schichten (Oxide, Nitride, Metalle, etc.) auf der Solarzelle (1) können als Maske verwendet werden. Durch Plasmaätzen (z.B. RIE oder mikrowellenunterstützte RIE-Verfahren wie ECR-RIE) kann eine sehr schmale, tiefe Struktur erzeugt werden, ohne die Maske zu beschädigen, wie dies in Figur 8a dargestellt ist. In Figur 8a ist hierbei eine Unterätzung der Maske (3) zu erkennen. Die Maske wird entsprechend auch zur Metallisierung verwendet und erst danach in einen sog. "lift-off"-Prozeß entfernt. Nach dem Entfernen der Maske erhält man einen metallisierten Graben (4) (Figur 8b). Eine Justage der Metallisierungsmaske auf die Struktur wird dadurch hinfällig. Die Metallisierung kann entweder durch Bedampfen erfolgen, oder durch Füllen der Strukturen mit Metallpaste. Dies kann durch Rakeln oder ganzflächiges Drucken geschehen.

Ein weiteres erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel (Beispiel 2) erlaubt erstmals die Kontaktierung der Basis einer Solarzelle durch einen homogenen Emitter, d.h. eine die ganze Oberfläche bedeckende Emitter-schicht hindurch. Dies ist in Figur 9 dargestellt. Dies entspricht einer selbstjustierenden Kontaktierung der Basis bei Einseitenkontaktierung. Dabei ist eine einzige Maske für die Erzeugung der erfindungsgemäßen Gräben oder Löcher und die anschließende Metallisierung ausreichend. Sowohl die aufwendige Herstellung eines selektiven Emitters als auch die Justage der Metallisierungsmaske auf die Struktur entfallen. Damit steht eine einfache Solarzellenkontaktierung von einer Seite zur Verfügung, die sowohl für Dünnschichtzellen auf

isolierendem Substrat als auch für Rückseitenkontaktzellen verwendet werden kann.

Die Gräben oder Löcher werden wie im vorangegangenen Beispiel (Beispiel 1) durch Verwendung einer Maske (3) auf der Emitterschicht (2) erzeugt (Figur 9a). Die Emitterschicht (2) befindet sich auf der Basisschicht (1). Bei dem Verfahren wird entweder die Maske (3) soweit unterätzt (Figuren 9b und 9d) oder die Flankenform der Vertiefungen so geätzt (Figur 9c), daß eine Maskierung des Emitters (2) bei der Metallisierung gewährleistet ist. Die Metallisierung erfolgt durch Bedampfen und eventuell anschließende galvanische Verdickung des Metalls. Da die Bedampfung nicht genau senkrecht stattfindet, muß auch der Emitterbereich in der Struktur bzw. den Vertiefungen maskiert sein, vergleichbar einem Schattenwurf. Dies wird durch die erfindungsgemäße Struktur sichergestellt. Die Abscheidung oder Aufbringung des Metalls darf für die Realisierung des Basiskontaktes (9) nur bis zu einer Höhe innerhalb der Vertiefungen erfolgen, bei der die Metallisierung (9) noch keinen Kontakt zur Emitterschicht (2) hat. Dies ist in den unteren Abbildungen der Figuren 9b bis 9d zu erkennen. Die dargestellte Querschnittsform der Metallisierung (9) ergibt sich aufgrund der Maskierung.

Die Gräben oder Löcher können bei dieser Anwendung prinzipiell auch naß-chemisch erzeugt werden. Da die Ätzrate dann allerdings isotrop, d.h. horizontal wie vertikal gleich ist, sind nur recht breite Strukturen realisierbar, die eine entsprechend große Abschattung der Solarzelle oder einen hohen Kontaktwiderstand und geringe Stromleitfähigkeit der Kontakte mit sich bringen. Figur 9d zeigt hierbei eine Form der Vertie-

- 20 -

fung bzw. des Grabens, wie sie durch naß-chemisches Ätzen erzeugt werden kann.

Geeignete Ätzlösungen oder Materialien bzw.

- 5 Kristallrichtungen oder auch die geeignete Wahl der Parameter beim Plasmaätzverfahren zur Erzeugung der erfindungsgemäßen Strukturen können jederzeit der Fachliteratur entnommen werden.
- 10 Wird für die Kontaktierung keine erfindungsgemäße Struktur mit Selbstmaskierungseffekt verwendet, und erfolgt die Kontaktierung nicht nach dem erfindungsgemäßen Verfahren der Unterätzung einer Maske (3) mit anschließender Metallisierung durch dieselbe Maske, so
- 15 kommt es zu Kurzschlüssen (12) zwischen Emitter (2) und Basiskontakt (9), wie in Figur 10 dargestellt. Die Solarzelle ist damit unbrauchbar.

- Ein Ausführungsbeispiel (Beispiel 3) für die
- 20 gleichzeitige selbjustierende Metallisierung von Emitter und Basis bei Rückseitenkontaktzellen zeigt Figur 11. Da bei Rückseitenkontaktzellen die gesamte Rückseite metallisiert werden kann, ermöglichen die erfindungsgemäßen Gräben oder Löcher die gleichzeitige
- 25 selbstjustierende Kontaktierung von Emitter und Basis. Wie im vorangehenden Beispiel (Beispiel 2) werden dazu Strukturen durch den Emitter (2) in die Basis (1) geätzt. Dabei ist die selbstmaskierende Form der Strukturflanken entscheidend. Figur 11 zeigt die Unterätzung
- 30 von oberflächennahen Bereichen der Emitterschicht (2), wodurch die Vertiefung im Bereich der Emitterschicht schräge Flanken erhält, deren Abstand mit der Tiefe zunimmt. Anschließend wird die Maske entfernt und es er-

folgt eine ganzflächige Metallisierung. Die Metallisierung auf der Emitterschicht (2) bildet den Emitterkontakt (8), die Metallisierung in der Vertiefung bildet den Basiskontakt (9). Es sind, wie in Beispiel 1
5 erläutert, unterschiedliche Arten von Masken zur Erzeugung der Strukturen möglich. Aufgrund der Form der Gräben oder Löcher mit überstehenden Rändern der oberflächennahen Bereiche der Emitterschicht wird das Metall wie in Figur 11 gezeigt abgeschieden, so daß ein
10 Kurzschluß zwischen Emitter- (8) und Basis-Kontakt (9) ausgeschlossen ist. Mit dem dargestellten Beispiel werden in vorteilhafter Weise der Emitter (2) und die Basis (1) bei Einsatz einer einzigen Maske gleichzeitig kontaktiert.

15
Der Emitterkontakt (8) kann entgegen dem vorhergehenden Beispiel (Beispiel 3) auch nicht ganzflächig ausgeführt werden, beispielsweise zur Realisierung eines Emittergrids. Dazu wird, wie in Figur 12 dargestellt, eine zusätzliche Metallisierungsmaske (13) benötigt. Die Metallisierung von Emitter (2) und Basis (1) kann aber dennoch in einem Schritt durchgeführt werden. Nach Erzeugung der Vertiefungen entsprechend dem vorangegangenen Beispiel (Beispiel 3) wird die zusätzliche Maske (13) zur Definition des Emitterkontakts
20 aufgebracht. Bei der anschließenden ganzflächigen Metallisierung werden Emitter und Basis gleichzeitig kontaktiert. Anschließend wird die zusätzliche Maske entfernt. Diese Form der gleichzeitigen Metallisierung von
25 Emitter und Basis ist auch auf die einseitige Kontaktierung von der Vorderseite anwendbar. Sie hat die gleichen Vorteile wie beim vorangegangenen Beispiel.
30

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Solarzellen, die zumindest eine erste Schicht oder Schichtfolge (2) über einer zweiten Schicht (1)
- 5 aufweisen, mit folgenden Schritten:
- Positionieren einer Ätzmaske (3) über der ersten Schicht oder Schichtfolge (2), wobei die Ätzmaske die Position der Kontaktstrukturen festlegt;
 - Ätzen von Vertiefungen an den durch die Ätzmaske

10 (3) vorgegebenen Stellen durch die erste Schicht oder Schichtfolge (2) bis an oder in die darunterliegende zweite Schicht (1) derart, daß die Ätzmaske (3) unterätzt wird; - Einbringen von elektrisch leitfähigem Material (9)

15 in die Vertiefungen, wobei die Ätzmaske (3) eine Schattenmaske für das Einbringen des Materials bildet, und das leitfähige Material nur so eingebracht wird, daß kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material (9) und der ersten Schicht oder Schichtfolge (2) entsteht;

20 und

 - nachfolgendes Entfernen der Ätzmaske (3).
2. Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Solarzellen, die zumindest eine erste Schicht oder
- 25 Schichtfolge (2) über einer zweiten Schicht (1) aufweisen, mit folgenden Schritten:
- Positionieren einer Ätzmaske (3) über der ersten Schicht oder Schichtfolge (2), wobei die Ätzmaske die Position der Kontaktstrukturen festlegt;
 - Ätzen von Vertiefungen an den durch die Ätzmaske

30

- 23 -

(3) vorgegebenen Stellen durch die erste Schicht oder Schichtfolge (2) bis an oder in die darunterliegende zweite Schicht (1) derart, daß zumindest ein Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge (2) unterätzt wird
5 bzw. negative Flanken erhält;

- Entfernen der Ätzmaske (3); und
- Einbringen von elektrisch leitfähigem Material (9) in die Vertiefungen, wobei der unterätzte Bereich bzw. die negativen Flanken der ersten Schicht oder Schicht-
10 folge (2) eine Schattenmaske für das Einbringen des Materials bilden, und das leitfähige Material nur so eingebracht wird, daß kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material (9) und der ersten Schicht oder Schichtfolge (2) entsteht.

15

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der unterätzte Bereich bzw. der Bereich mit negativen Flanken ein oberflächennaher Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge (2) ist.

20

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Unterätzen der Ätzmaske (3) oder das Ätzen negativer Flanken in einem Bereich der ersten Schicht
25 oder Schichtfolge (2) durch gezielte Steuerung von Parametern des Ätzverfahrens und/oder durch unterschiedliches Ätzverhalten der für Ätzmaske und/oder erste Schicht oder Schichtfolge eingesetzten Materialien realisiert wird.

30

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das leitfähige Material (9) gleichzeitig mit dem

- 24 -

Einbringen in die Vertiefungen ganzflächig auf die erste Schicht oder Schichtfolge (2) aufgebracht wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4,
5 dadurch gekennzeichnet,
daß vor dem Einbringen des leitfähigen Materials (9)
eine neue Maske (13) zur Definition einer Kontakt-
struktur für die erste Schicht oder Schichtfolge (2)
auf die erste Schicht oder Schichtfolge aufgebracht
10 wird, anschließend das leitfähige Material gleichzeitig
mit dem Einbringen in die Vertiefungen auch in die
Kontaktstruktur für die erste Schicht oder Schichtfolge
eingebracht wird, und nachfolgend die neue Maske (13)
entfernt wird.
- 15 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß die erste Schicht (2) eine Emitterschicht und die
zweite Schicht (1) eine Basisschicht der Solarzelle
20 ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß zum Ätzen ein Plasmaätzverfahren eingesetzt wird.
- 25 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Positionieren der Ätzmaske (3) durch Aufbringen
auf die erste Schicht oder Schichtfolge (2) erfolgt.
- 30 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Positionieren der Ätzmaske (3) durch Anbringen

- 25 -

als Schattenmaske über der ersten Schicht oder Schichtfolge (2) erfolgt.

11. Solarzelle, die zumindest eine erste Schicht oder
5 Schichtfolge (2) über einer zweiten Schicht (1) aufweist, mit

- Vertiefungen oder Öffnungen in der ersten Schicht oder Schichtfolge, die sich bis an oder in die zweite Schicht erstrecken, und die zumindest in einem Bereich
10 der ersten Schicht oder Schichtfolge schräg verlaufende Flanken aufweisen, deren gegenseitige Abstände mit der Tiefe zunehmen; und

- elektrisch leitfähigem Material (9) in den Vertiefungen oder Öffnungen, das so eingebracht ist,
15 daß kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material (9) und der ersten Schicht oder Schichtfolge (2) besteht.

12. Solarzelle nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
20 daß die erste Schicht die Emitterschicht und die zweite Schicht die Basisschicht der Solarzelle sind, so daß der Basiskontakt durch die Emitterschicht hindurch realisierbar ist.

25 13. Solarzelle nach Anspruch 11 oder 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Vertiefungen oder Öffnungen Gräben und/oder Löcher sind.

30 14. Solarzelle nach einem der Ansprüche 11 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
daß die erste Schicht oder Schichtfolge die schrägen Flanken in einem oberflächennahen Bereich aufweist.

- 26 -

15. Solarzelle nach einem der Ansprüche 11 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Vertiefungen ein hohes Aspektverhältnis
aufweisen.

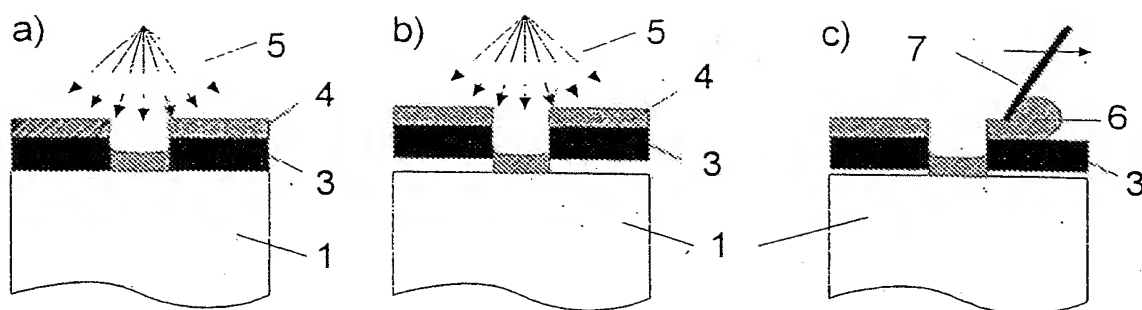


Fig. 1 (Stand der Technik)

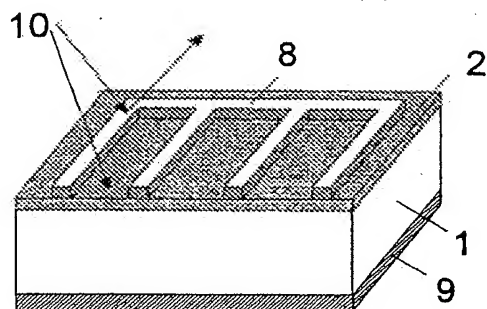


Fig. 2 (Stand der Technik)

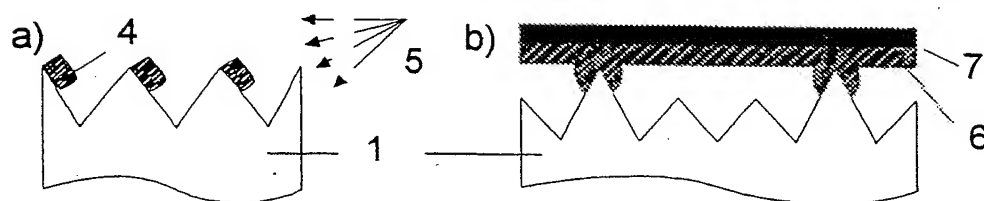


Fig. 3 (Stand der Technik)

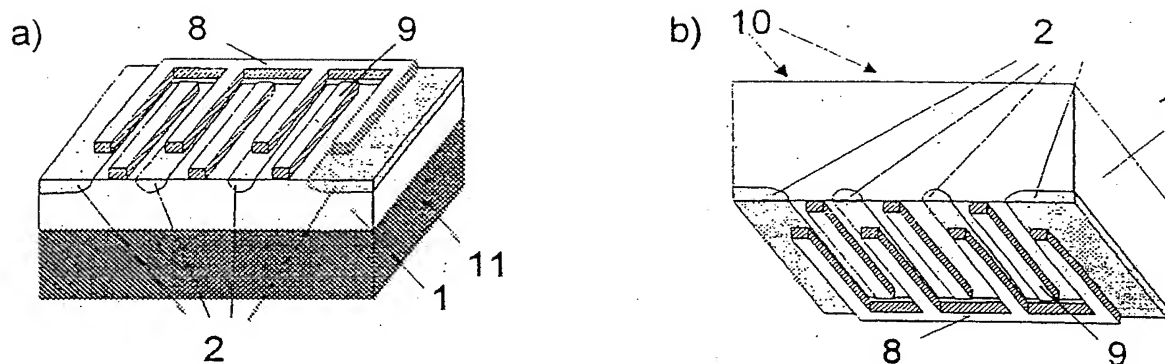


Fig. 4 (Stand der Technik)

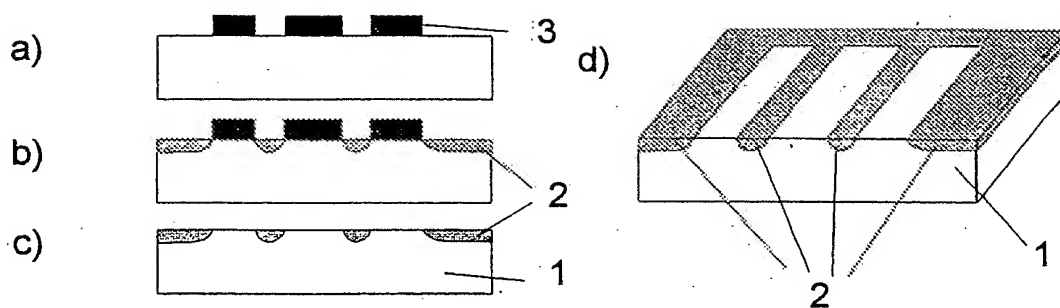


Fig. 5 (Stand der Technik)

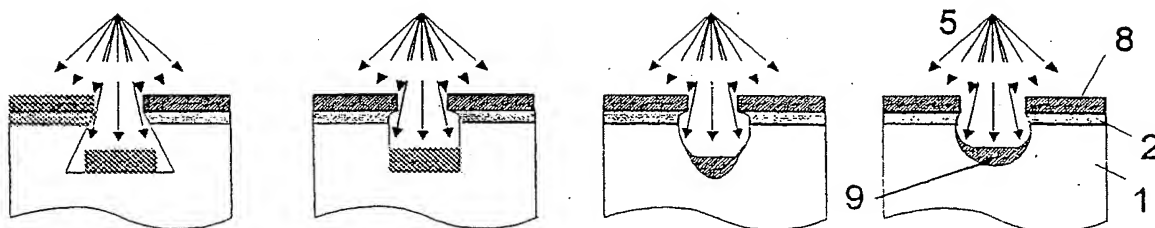


Fig. 6

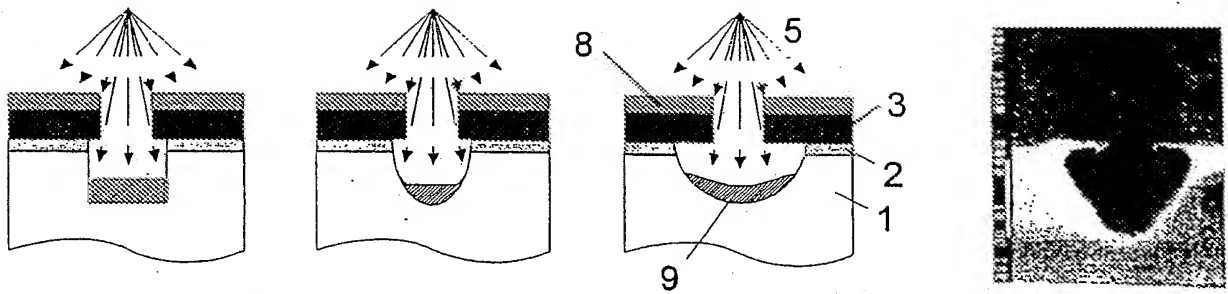


Fig. 7

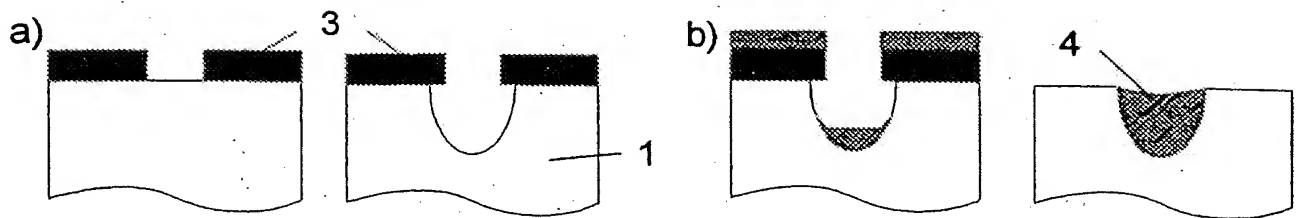


Fig. 8

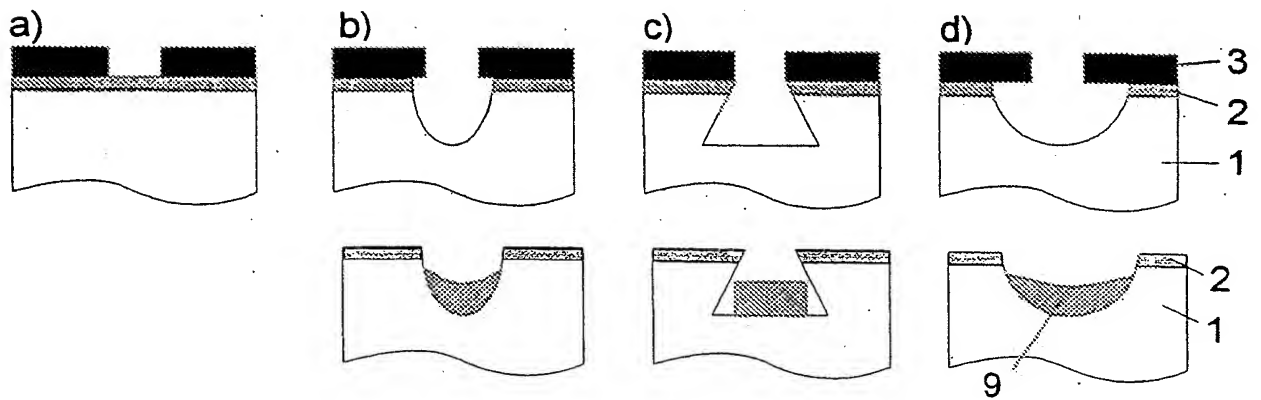


Fig. 9

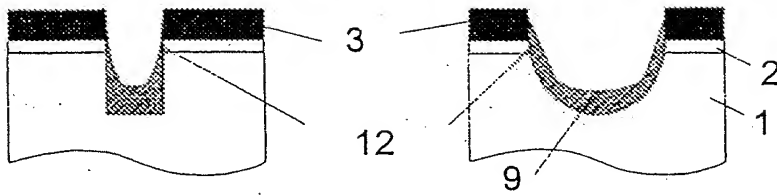


Fig. 10

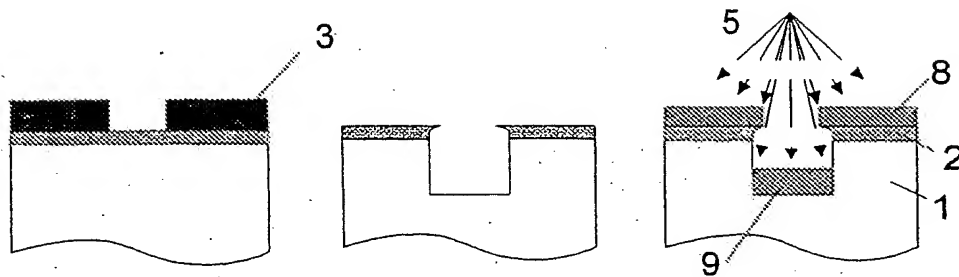


Fig. 11

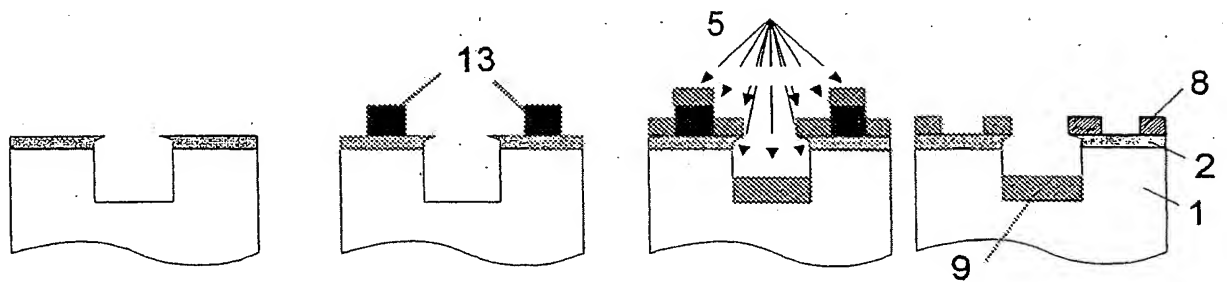


Fig. 12